

声表面波射频识别技术及其发展^{*}

陈艺慧^{1,2}, 郑高峰¹, 孙道恒¹

(1. 厦门大学物理与机电工程学院机电工程系, 福建 厦门 361005;
2. 厦门大学信息科学与技术学院公共电子学实验室, 福建 厦门 361005)

摘 要: 声表面波(Surface Acoustic Wave, SAW)是沿物体表面传播的、能量集中于表面附近的一种弹性波。基于 SAW 技术实现的射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是应用现代电子学、声学、微电子工艺技术和雷达信号处理技术等的新成就,具有纯无源、阅读距离大、制造成本低、可在高温差、强电磁干扰等恶劣环境下工作等特点,可应用于交通运输、工农业生产制造及监测等各个领域。它是基于集成电路芯片 RFID 的重要技术补充,逐渐受到了业界的广泛关注。文中基于 SAW-RFID 的工作原理介绍了 SAW-RFID 的特点及优势,分析讨论了 SAW 标签的编码方式、发展状况及关键技术问题等。

关键词: 声表面波; 射频识别; 标签; 叉指换能器

中图分类号: TN65 文献标识码: A 文章编号: 1008-5300(2012)03-0001-06

Surface Acoustic Wave Radio Frequency Identification Technology and Its Development

CHEN Yi-hui^{1,2}, ZHENG Gao-feng¹, SUN Dao-heng¹

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Public Electronics Lab, School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Surface acoustic wave (SAW) is an acoustic wave traveling along the surface of a material exhibiting elasticity, with most energy concentrated nearby the surface. SAW-based radio frequency identification (RFID) technology is a new achievement involving the modern electronics, acoustics, microelectronic process technology and radar signal processing technology, etc. It is characterized by full passivity, wide-reading range, low cost and can operate under harsh environments, such as high temperature difference, strong electromagnetic interference, etc. It can be used in transport and communications, industrial and agricultural manufacturing and monitoring, etc. As an important complement to the RFID based on integrated circuit chip, it gradually receives increasing attention. In this paper characteristics and advantages of SAW-RFID are introduced based on its operation principle, the encoding modes, development situation and the key technological problems of SAW tags are analyzed and discussed.

Key words: surface acoustic wave; radio frequency identification; tag; inter digital transducer

引 言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)作为新一代目标自动识别技术,已被广泛应用于生产、管理、生活等各个领域。典型的 RFID 标签基于集成

电路(Integrated Circuit, IC)芯片进行编号识别,在有金属物体、液体、强电磁干扰的环境及高温环境中难以实现信息读取,限制了 RFID 技术在特殊场合的应用。而基于声表面波(Surface Acoustic Wave, SAW)技术实现的 RFID 标签可以在上述恶劣环境中正常工作,具

^{*} 收稿日期: 2012-01-06

有纯无源、阅读距离大(数米至数十米)、批量成本低、工作温度范围宽($-100\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$)、抗电磁干扰能力强等特点^[1-2],是IC-RFID标签的重要补充,它作为一种新兴的自动识别技术已经获得了广泛的关注。

SAW发现于19世纪80年代,但因产生困难,在很长一段时间内并没有得到实际应用。1965年R M White和F M Voltmov发明了能在压电材料表面激励SAW的叉指换能器(Inter Digital Transducer, IDT)后,SAW技术才得以加速发展,被逐渐应用到许多科学领域并相继出现了众多的商品化SAW器件^[3]。SAW技术具有以下特点^[4]: 1) SAW波速和波长约等于同频电磁波的十万分之一,有利于器件的超小型化; 2) 可在表面进行换能和传播,容易实现信号的取样和处理; 3) 传播时不涉及晶体内部电子的迁移,具有较强的抗辐射能力和较大的动态范围; 4) 器件采用单晶材料和半导体平面工艺制作,重复性和一致性好,易于大批量生产; 5) 器件使用压电材料作为基底,具有极高的温度稳定性和更广的工作温度范围。因此,SAW标签与IC标签有着良好的互补性,越来越受到人们的重视,具有极好的发展前景。SAW-RFID已经成为RFID技术研究的重要方向,尤其是在恶劣环境中应用的重要技术途径。

SAW标签的应用范围非常广泛,包括物流管理、路桥收费、公共交通、门禁控制、防伪、农场的健康与安全监控识别、超市防盗和收费、航空行李分拣、邮包跟踪、工厂装配流水线控制和跟踪、设备和资产管理、体育竞赛等。SAW标签也适用于压力、应力、扭曲、加速度和温度等物理量的测量,如铁路红外轴温探测系统的热轴定位、轨道衡、超偏载检测系统、汽车轮胎压力等。

1 SAW-RFID的组成及工作原理

声表面波射频识别系统的结构如图1所示,主要包括阅读器和应答器(SAW标签),其中SAW标签由叉指换能器(IDT)、与IDT相连的标签天线、压电基片和编码反射栅组成。反射栅放置在压电基板声波传播路径上并按一定编码方式排列,将声波反射成RFID标签编码。

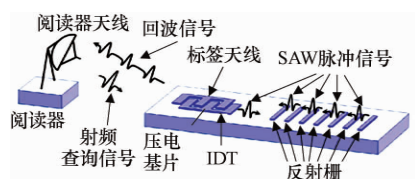


图1 SAW-RFID的系统结构

工作时阅读器通过天线周期性地发射高频查询脉冲,有效距离内的SAW标签天线接收到查询信号,IDT利用逆压电效应把天线接收到的高频电脉冲信号转换成声表面波脉冲信号在压电基片上进行纵向传播;反射栅组按特定的编码方式将入射表面波反射回IDT,IDT利用压电效应又将其转变成高频电脉冲串;标签天线向外发射这些含有标签信息的高频电脉冲应答信号,阅读器天线将含有RFID标签编码信息的信号送回阅读器;通过解调与处理,获取有效范围内的SAW标签信息。SAW在压电基片上的传播速度为 $3 \sim 4\text{ km/s}$,比电磁波小5个数量级。在压电基片上经过 $1.5 \sim 2.0\text{ mm}$ 距离的传播,SAW会产生 $1\text{ }\mu\text{s}$ 的延迟。因此识别过程需要几微秒的延迟时间应答脉冲才可到达阅读器,此时阅读器周围的干扰反射已经衰减。应答信号的延迟时间大于 $1\text{ }\mu\text{s}$ 时,能够较容易地将应答信号从环境噪声中分辨出来^[5],从而避免了周围干扰反射的影响,如图2所示^[6]。

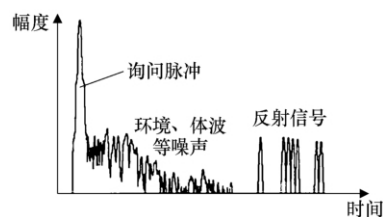


图2 典型的发射与反射信号

2 SAW标签编码

压电基片是SAW在标签上传播的通道和反射栅的放置载体,也是决定标签制造成本的重要因素(SAW标签的制造成本几乎正比于压电基片长度的3次方^[7])。在长度有限的压电基片上,改善编码效率、缩短反射栅距离是SAW射频识别技术研究的关键。目前,SAW-RFID主要依据反射回波的幅度、包络峰值位置和载波相位进行编码,形成了开关键控、脉冲位置调制以及相位调制等多种编码方式。

2.1 开关键控编码

开关键控编码是通过判断预定位置上反射栅的有无来进行的,每一个脉冲位置(时隙)都可以完整地对应一位二进制数据,利用脉冲的开关幅度表示二进制的“0”或“1”。如0110,其数据结构和物理结构如图3所示。

2.2 相位调制编码

相位调制(PSK)编码是利用叉指换能器检测SAW脉冲,可对有效脉冲的回波相位进行调制。以二进制为例,假设叉指换能器的极性与发射叉指换能器

的极性相同,回波信号不反相,表示 0;若极性相反,则回波信号反相,表示 1。如 0110,其数据结构与物理结构如图 4 所示。

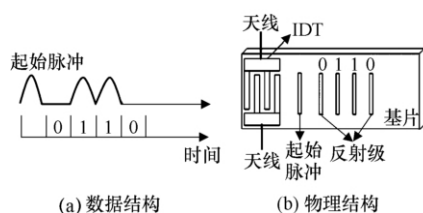


图 3 开关幅度编码结构

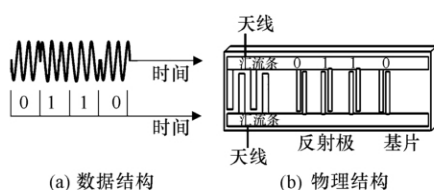


图 4 PSK 编码结构

2.3 脉冲位置编码

脉冲位置调制是一种信号调制形式,信息被编码为具有不同时间间隔的顺序信号脉冲。利用具有统一幅值和宽度,且具有时域位置偏移的脉冲来实现。脉冲位置编码可分为 3 种:单脉冲位置编码、多脉冲位置编码和相位步进脉冲位置编码。图 5 表示了 SAW 标签十进制单脉冲位置编码:脉冲若在第 1 个时隙,表示 0;若在第 2 个时隙,表示 1,依此类推构成数据组。为了给每个脉冲的时间位置提供时间基准,一般以第 1 个脉冲作为起始脉冲,以其所在的时间位置作为脉冲位置编码数据结构的基准时间,其他脉冲的时间延迟都是相对起始脉冲而言的。由于 1 个数据组只有 1 个脉冲,因此也称为单脉冲位置编码(LPPM);若 1 个数据组里有多个脉冲,则称为多脉冲位置编码,如图 6 所示。相位步进脉冲编码是多脉冲位置编码的特殊形式,如图 7 所示。

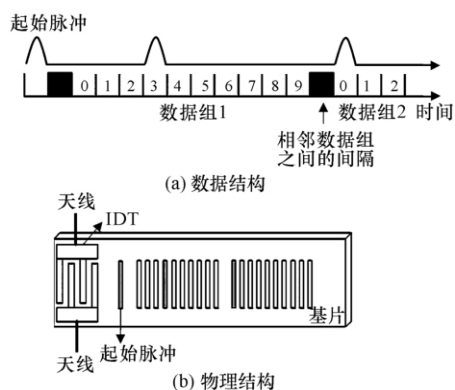


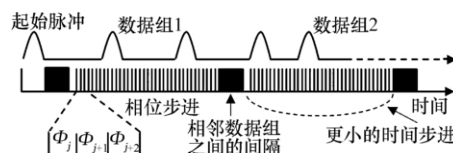
图 5 LPPM 编码结构

基于脉冲的脉冲位置编码(单脉冲位置编码和多

脉冲位置编码)的时隙宽度受到脉冲宽度的限制,要减小时隙的宽度,就必须减小有效脉冲的宽度,但是减小脉冲的宽度会影响 SAW 标签系统阅读器的识别距离,同时增加了对接收机采样率的要求。文献[8]提出了一种基于频率步进信号的脉冲位置编码方式——频率步进脉冲位置编码。频率步进信号的距离分辨率与脉冲的宽度无关,而只与系统的相干带宽成反比,解决了脉冲位置编码出现的矛盾。



图 6 多脉冲位置编码数据结构



注: Φ 表示相位差

图 7 相位步进脉冲位置编码数据结构

脉冲位置编码是目前最常用的一种编码方式,也是商业化标签最主要的一种编码方式^[9-13],采用脉冲位置和相位偏移相结合的调制方法有利于进一步提高编码质量,最新的 Global SAW 标签就采用了此编码方法^[14-19]。文献[20]提出了一种新的编码方法,其编码容量比 Global SAW 标签的编码容量还要高。

3 SAW 标签的应用与发展状况

IDT 的出现使在压电材料表面激励 SAW 得以实现,从而大大加速了 SAW 技术的发展,并显示出巨大的应用前景;C. S. Hartmann 研究 SAW 器件在识别方面的应用^[21],大大推动了 SAW 标签的理论与应用研究的快速发展。相对于其它 RFID 技术,SAW-RFID 起步较晚、技术难度也较大,直至 20 世纪 70 年代才出现了第 1 个基于换能器的 SAW 标签^[21-23],其结构如图 8 所示^[24]。其中的单轨道 IDT 标签由于尺寸大、损耗高、多次反射以及很难编码等问题而没被采用,而多轨道 IDT 标签虽能减少多次反射,却增加了标签的尺寸和损耗。

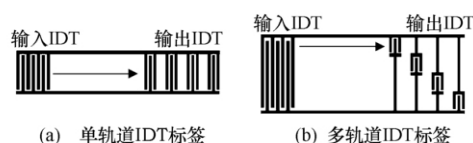


图 8 基于换能器的 SAW 标签

20 世纪 80 年代末 90 年代初,挪威的 MicroDesign 公司曾经供应过 SAW 标签^[25],主要应用于奥斯陆高速公路收费站(见图 9^[26])和机场支线处,汽车可以 100 km/h 的速度通过。该系统采用开关键控的编码方式,存储容量为 32 位的只读数据,频率为 856 MHz,其反射器分 2 个轨道排列在 IDT 的一侧。为了保证每位反射信号幅度的均匀性,该系统逐渐加强了后面反射器的反射性,但越往后面信号的衰减就越严重,因此该系统还是无法使每位反射信号幅度均匀。



图 9 SAW-RFID 标签应用于挪威奥斯陆高速公路收费站

1994 年西门子公司推出了 SOFIS SAW-RFID 系统^[26-27],并成功用于德国慕尼黑火车进站定位系统和几个当地的列车系统。该系统采用的 2.45 GHz SAW 辨识标签采用开关键控的编码方式,存储容量为 20 位或 31 位的只读数据,读取距离可以达到 1.3 m,可以检测到高达 350 km/h 的汽车速度,工作环境的最高温度可达 400 ℃。为了保证反射幅度的均匀性,其结构拥有 33 个反射器,分 4 个轨道,每个轨道 8 个反射器,分布在 IDT 两侧,如图 10 所示^[26]。为了补偿由不同初始延迟导致的不同衰减,这 4 组反射器采用不同的孔径;为了保证均匀分配,第 1 组跟第 4 组放在 IDT 一侧,第 2 组跟第 3 组放在 IDT 另一侧,最后只需仔细设计其中 1 组的损耗补偿。该系统的标签解决了反射幅度的均匀性,但是仍无法解决信号的高插入损耗,其主要原因是该系统标签采用的是开关键控的编码方式和 LiNbO₃-YZ 的压电机体材料。不过,该系统最大的问题却是阅读器的成本太高。

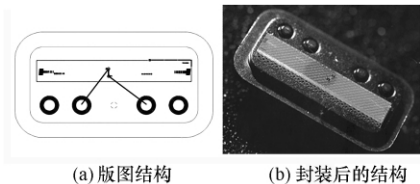


图 10 SOFIS SAW-RFID 系统标签结构

德国 BaumerIdent 公司也研制生产了 OIS-W SAW-RFID 系统(该系统由瑞士的 TAGIX 公司转移给 BaumerIdent 公司^[10])。该系统采用 2.45 GHz SAW 辨识标签,存储容量为 14 位或 32 位,首次采用脉冲位置的编码方式,读取距离可达 6 m,识别时间仅为 20 ms,其封装好后的标签结构如图 11 所示^[28]。美国的

Identtronix、i-Ray、RF-SAW 等公司也生产了商业化的 SAW 标签。RF-SAW 公司已向许多行业销售了 SAW RFID 设备,其最新的 Global SAW 标签已经应用在国际空间站的包裹分拣中^[29]。Global SAW 标签符合 EPC 标准,编码容量可达 128 位或更高,具有多目标识别能力。Global SAW 标签的主要性能指标见表 1^[30]。

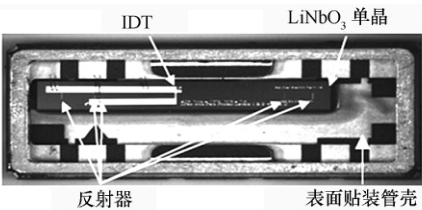


图 11 BaumerIdent 公司生产的 SAW 标签

表 1 Global SAW 标签的主要性能指标

	参数	描述
系统	读取范围/m	3 ~ 20(取决于系统)
	防冲突	多级时域,空域,代码分段执行
标签	EPC 兼容性	64 和 96 位
	标签应用温度范围/℃	-100 ~ +200 以上
阅读器	频率范围/GHz	2.4 ~ 2.483
	射频功率输出/mW	可调整,最大:215
	标签的读取速度	数据采集:100 只/s 数据译码:200 只/s

在国内,对 SAW 技术的研究主要集中于滤波器和传感器,对 SAW 标签的研究还处于起步阶段。目前,国内涉及声表面波技术的高校和研究所已开始关注并进行声表面波射频标签技术的研究。上海交通大学韩韬、施文康等从 2000 年开始陆续发表了一些关于 SAW 标签编码、接收机、查询单元、以及数据处理单元的论文,对 SAW-RFID 中的各个单元都有较系统的研究^[6,31-37]。国内某些院校和研究所已经开始了有关 SAW-RFID 产品技术开发和样品样机的试制,并已试制开发了应用器件样品和样机。

4 SAW 标签的关键技术问题

作为一项新兴的识别技术,SAW 标签应注意以下关键技术问题。

4.1 降低成本

通过寻找性价比高的基底材料、减小基本尺寸、开发小型适合待识别物体尺寸的标签天线,进一步降低识别标签成本。只有当其平均价格低于 10 美分时,SAW 标签才能被大规模商业化使用。目前,声表面波器件所用的压电基片主要有压电单晶、压电陶瓷和压

电薄膜。SAW-RFID 标签对压电基片的要求有: 1) 为了形成叉指电极, 必须具有良好的表面平整度, 期望其在微米级以下; 2) 为了提高换能效率, 要求其具有尽可能高的机电耦合系数, 其机电耦合系数 k 值必须在 0.5% 以上, 最好能达到 2% 以上; 3) 传播损耗要小, 希望其值在 0.2 dB/ λ 以下; 4) 传播速度的温度系数要小; 5) 重复性要好, 可靠性要高, 且适合于批量生产; 6) 成本要低^[38]。为了减小标签尺寸可以采用 Z 型的标签结构, 如图 12^[24] 所示。该结构利用 2 个斜的强反射镜, 虽然会导致额外的损耗 (-5 ~ -10 dB), 读取距离也会随着下降 (距离下降量小于 50%), 但标签尺寸将大大减小, 为 SAW 标签的商业化应用提供了一种良好的解决方案。

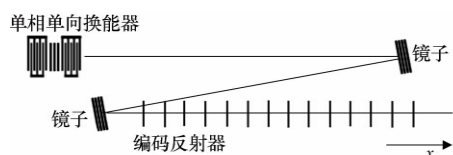


图 12 Z 型 SAW 标签的结构

4.2 提高编码容量

根据 EPC 标准, 射频标签编码的容量只有达到 64 位甚至 96 位, 才能使全球任意物品具有唯一的标签号码。但目前的编码方式, 在有限长度的基片上无法满足上述编码的容量要求, 成为限制 SAW 标签广泛应用的主要原因之一, 因此必须寻找新的编码方式, 增大编码容量。

4.3 开发反射栅反射特性的精确分析模型

SAW 标签的设计需要得到各种反射栅类型以及不同结构参数下的反射、透射以及散射系数的精确值。目前声表面的仿真模型主要有 δ 函数模型、等效电路模型、P 矩阵理论模型、COM 耦合理论模型和基于有限元的分析模型。还需开发新型分析模型, 提高信息传输精度以满足应用发展需求^[39-41]。

4.4 解决多标签的防碰撞问题

解决了多标签的防碰撞问题, 当多个标签同时出现时, 阅读器就可依次读出标签的信息, 多目标识别已成为新一代 RFID 应用研究的主流方向。

4.5 减小 SAW 传播过程中的插入损耗

SAW 的损耗主要有: 1) 传播损耗。传播损耗与工作频率有关, 频率越高损耗越大。2) 叉指换能器的损耗。为减少叉指换能器的损耗, 一般使用单向叉指换能器或分指、切趾等方法。3) 反射极损耗。反射极损耗与反射极数目平方的对数成正比。4) 阻抗不匹配, 汇流排和叉指电极的电阻带来的额外损耗。5) 器件表面处理和装配技术带来的损耗^[35]。多设计新标签

结构, 减小 SAW 传播过程中的插入损耗。到目前为止已研发出的 SAW 标签结构有多条声轨迹、重叠路径、多口器件、单向 IDT 及相位/幅值可变的 IDT 等多种类型。若采用单向单相换能器^[19], 还能减小寄生反射。

4.6 提高低信噪比下的识别能力

由于空间激励的信号能量有限, 随着读写器和 SAW 标签距离的增加, 信号衰减非常严重。因此, 应降低噪声, 提高识别能力, 促进其在恶劣环境中的使用, 扩大其应用范围。

4.7 采用超宽带 (UWB) 技术^[24-28]

超宽带主要有两方面的特点: 一是超宽带的带宽。美国联邦通信委员会定义的带宽比中心频率高 25% 或者大于 1.5 GHz^[42], 这一带宽明显大于目前所有通信技术的带宽。二是超宽带的无载波应用的典型方式。传统的“窄带”和“宽带”都采用无线电频率载波来传送信号, 频率范围从基带到系统被允许使用的实际载波频率。而超宽带的实现方式是直接调制一个大的激增和下降时间的“脉冲”, 这样所产生的波形占据了几个吉赫兹的带宽。所以, 采用 UWB 技术可以使编码时延较短, 有利于进一步减小标签尺寸、降低损耗、减小信号的发射功率, 也能更好地区分环境干扰信号与反射信号, 增强了抗干扰能力, 例如: 询问信号采用线性调频信号, 经转换器压缩转换后通过反射器反射, 再经转换器解压转换成电信号, 这时反射信号的频率分布跟询问信号相反, 而环境反射的信号与询问信号相同, 如图 13 所示。

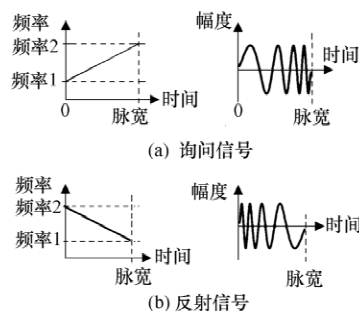


图 13 询问与反射信号

5 结束语

综上所述, SAW 标签是一项新兴的自动识别技术, 是 IC 标签技术的重要补充, 具有能耗低、抗干扰能力强、读取数据及传输处理快速、体积小、价格低等优点, 具有极强的实用性, 越来越受到大家的关注。作为一种新兴的识别技术, 目前 SAW 标签还有很多问题需要解决, 如减小损耗、提高编码容量、降低成本、提高识

别能力等。因此,开发新的标签结构、寻找新的基底材料、开发新的仿真模型是目前 SAW 标签研究的重点。

参考文献

- [1] HARTMAN C S. Future high volume applications of SAW devices [C]//IEEE Ultrasonics Symposium, 1985: 64-73.
- [2] NYSEN P A, SKEIE H, ARMSTRONG D. System for interrogating passive transponder carry phase-encoding information: USA, 4725841, 4625207, 4625208 [P]. 1985.
- [3] 董辉平, 鲁旭涛. 基于 ANSYS 的声表面波器件仿真研究 [J]. 机械工程与自动化, 2008(5): 63-67.
- [4] 朱华. 基于频域采样的声表面波射频频识别系统研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [5] REINDL L, RUILE W. Programmable reflectors for SAW-ID-tags [C]// Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, Boston, USA, 1993: 125-130.
- [6] 刘艾, 马伟方. 基于声表面波传感的无线标签识别系统 [J]. 上海交通大学学报, 2001, 35(5): 710-712.
- [7] 周栓, 李庆亮, 韩韬, 等. 基于频率步进原理的声表面波射频频标签的辨识 [J]. 压电与声光, 2007, 29(2): 132-134.
- [8] 邓桂福. 基于 SAW 射频频识别的编码方式研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- [9] PLESSKY V P, KONDRATIEV S N, STIERLIN R, et al. SAW tags: new ideas [C]// IEEE Ultrasonics Symposium, 1995: 117-120.
- [10] REINDL L, SHRENA I, KENSIL S, et al. Wireless measurement of temperature using surface acoustic waves sensors [C]// IEEE International Frequency Control Symposium, 2003: 935-941.
- [11] STIERLIN R, KÜNG R. Process for carrying out a non-contact remote inquiry: USA, 6407695 [P]. 2002.
- [12] STIERLIN R, KÜNG R. Process for carrying out a non-contact remote interrogation: USA, 6630900 [P]. 2003.
- [13] STELZER A, PICHLER M, SCHEIBLHOFFER S, et al. Identification of SAW ID-tags using an FSCW interrogation unit and model-based evaluation [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2004, 51(11): 1412-1420.
- [14] RF SAW, Incorporation. The Global SAW tag: a new technical approach to RFID. [EB/OL]. [2011-11-20]. [http://www.rfsaw.com/pdfs/SAW %20 RFID %20 White-paper. pdf](http://www.rfsaw.com/pdfs/SAW%20RFID%20White-paper.pdf).
- [15] HARTMAN C S. A global SAW ID tag with large data capacity [C]// Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, München, Germany, 2002: 65-69.
- [16] HARTMAN C S, CLAIBORNE L T. Anti-collision request pulse focusing system for use with multiple surface acoustic wave identification tags and method of operation thereof: USA, 7084768 [P]. 2003.
- [17] HARTMAN C S, BROWN P, BELLAMY J. Design of global SAW RFID tag [C]// Proceedings of the 2nd International Symposium. Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communications Systems, Chiba, Japan, 2004: 15-19.
- [18] HARTMAN C S. Surface acoustic wave identification tag having enhanced data content and methods of operation and manufacture thereof: USA, 6966493 [P]. 2005.
- [19] HARTMAN C S, PLESSKY V P. Single phase unidirectional surface acoustic wave transducer and improved reflectors: USA, 7173360 [P]. 2007.
- [20] 王昊, 吴浩东, 康阿龙, 等. 声表面波射频频标签码容量的最大化 [J]. 声学学报, 2011, 36(2): 207-210.
- [21] Unisearch Limited. Passive labels for use in electronic surveillance systems: UK, 1298381 [P]. 1970.
- [22] COLE P H, VAUGHAN R. Electronic surveillance system: USA, 3706094 [P]. 1972.
- [23] VOGEL K. Apparatus for identifying objects and persons: USA, 4263595 [P]. 1981.
- [24] HäRMä S. Surface acoustic wave RFID tags: ideas, developments and experiments [D]. Espoo, Finland, Helsinki University of Technology, 2009.
- [25] ANON. Technology focus: Norway implements of vehicle identification [J]. Microwave and RF engineering, 1989, 61(7): 42-43.
- [26] REINDL L, SCHOLL G, OSTERTAG T, et al. Theory and application of passive SAW radio transponder as sensors [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1998, 45(5): 1281-1292.
- [27] REINDL L, OSTERTAG T, RUILE W, et al. Hybrid SAW-device for a European train control system [C]// Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 1994: 175-179.
- [28] PLESSKY V P, REINDL L M. Review on SAW RFID tags [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2010, 57(3): 654-668.

(下转第 11 页)

不易伤人的玻璃。常见的安全玻璃有贴膜玻璃、钢化玻璃、夹层玻璃等。

7 结束语

在汽车碰撞中,乘员约束系统能够最大程度地避免或减轻乘员与车内部件的“二次”碰撞,有效减少汽车碰撞对车内乘员的伤害。本文着重论述了乘员约束系统中安全带、安全气囊、安全座椅等重要部件的功能、种类、工作原理及其新发展。乘员约束系统的发展将着重研发智能约束系统,发展智能约束系统将成为汽车安全领域研究的主导方向。

参 考 文 献

- [1] 葛如海. 汽车正面碰撞乘员约束系统匹配研究[D]. 镇江: 江苏大学 2007.
- [2] 唐洪斌, 王登峰. 前端结构对正面安全气囊不起爆速度阈

值的影响[J]. 吉林大学学报: 工学版 2008, 38(4): 774-777.

- [3] 连广宇, 朱西产. 安全气囊对离位乘员的损伤及其改善措施的研究[J]. 汽车工程 2009, 31(12): 1153-1157.
- [4] 连广宇, 朱西产, 马志雄, 等. 安全气囊对离位乘员造成伤害的机理与改善[J]. 计算机辅助工程 2009, 18(4): 29-33.
- [5] 葛如海, 蓝善斌, 陈晓东, 等. 安全气囊对离位乘员损伤影响的仿真研究[J]. 汽车工程 2007, 29(9): 765-770.
- [6] 赵波, 范平清, 沈涛. 轿车座椅主动式头枕吸能性分析[J]. 机械设计与制造 2010(3): 115-117.

缪建洲(1960-) ,男,工程师,主要从事汽车设计与改装车设计。

(上接第 6 页)

- [29] BROWN P, HARTMAN P, SCHELHASE A, et al. Asset tracking on the international space station using global SAW tag RFID technology[C]//Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium 2007: 72-75.
- [30] 李庆亮. 声表面波射频辨识标签与系统研究[D]. 上海: 上海交通大学 2008.
- [31] 王玉林, 曹金荣, 前锋, 等. 声表面波射频识别无源电子标签[J]. 固体电子学研究与进展 2007, 27(1): 109-114.
- [32] 韩韬, 施文康. 基于辨识标签原理的无源声表面波传感器技术要点与发展趋势[J]. 传感技术学报 2000, 13(4): 326-329.
- [33] 韩韬, 施文康, 吴嘉慧, 等. 无线声表面波辨识标签的分析和设计[J]. 仪器仪表学报 2003, 24(1): 36-39.
- [34] 赵家亮, 韩韬, 施文康. 无线声表面波辨识标签最佳判决电平确定[J]. 上海交通大学学报 2004, 38(2): 175-177.
- [35] 邓晔, 李庆亮. 声表面波无线标签系统接收机的设计[J]. 传感技术学报 2006, 19(3): 839-842.
- [36] 林蔚, 王资凯, 韩韬. 脉位调制式声表面波射频标签的回波时延估计[J]. 压电与声光 2010, 32(2): 178-180.

- [37] 吴佳, 李庆亮, 韩韬, 等. 声表面波标签三次反射的分析[J]. 压电与声光 2008, 30(3): 265-267.
- [38] 郝俊杰, 徐廷献. 声表面波用基片材料[J]. 硅酸盐通报, 2000(6): 32-36.
- [39] PENG D S, YU T, YU F Q. An improved 2-D ANSYS simulation model for SAW[C]// ICIEA 2009: 332-335.
- [40] PENG D S, YU T, YU F Q. A design methodology for RFID SAW tag[C]// ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control and Management, 2009: 266-269.
- [41] PENG D S, YU F Q. A novel FEA simulation model for RFID SAW tag[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2009, 56(8): 1753-1760.
- [42] BREED G. A summary of FCC rules for ultra wideband communications[J]. High Frequency Electronics, 2005(4): 42-44.

陈艺慧(1982-) ,女,硕士,工程师,主要从事微米技术研究。